

Artículo Científico

Sistemas de drenaje urbano sostenible para mitigación de inundaciones

Sustainable urban drainage systems for flood mitigation



Salvatierra-Moreira, Carlos Omar ¹



<https://orcid.org/0009-0000-9473-0394>



Carlossalvatierramoreira@gmail.com



Investigador Independiente, Ecuador, Quevedo.



Vinueza-Mendoza, Glenn Walter ²



<https://orcid.org/0000-0002-6414-3532>



gvinueza@uteq.edu.ec



Universidad Técnica Estatal del Quevedo, Ecuador, Quevedo.



Soria-Quisigüña, Samantha ³



<https://orcid.org/0009-0002-8042-6337>



nicolesoria2905@hotmail.com



Investigador Independiente, Ecuador, Quevedo.



Carrillo-Morales, Carlos Alejandro ⁴



<https://orcid.org/0009-0000-3884-3431>



calcarrillom2001@gmail.com



Investigador Independiente, Ecuador, Quevedo.

Autor de correspondencia ¹



DOI / URL: <https://revistacym.com/index.php/home/article/view/172>

Resumen: Las inundaciones urbanas asociadas a lluvias intensas, impermeabilización y alcantarillado insuficiente demandan enfoques que vayan más allá del drenaje convencional; por ello, este artículo revisa la evidencia sobre Sistemas de Drenaje Urbano Sostenible (SuDS) para la mitigación de inundaciones. Se aplicó una revisión documental cualitativa y exploratoria de alcance, con búsqueda reproducible en bases académicas y literatura técnica, cribado y lectura a texto completo, criterios de inclusión/exclusión y extracción en una matriz de variables de tipología, contexto y desempeño. Los hallazgos indican que los SuDS, como infraestructura distribuida, incorporan almacenamiento e incrementan tiempos de tránsito, atenuando caudales pico, reduciendo volúmenes de escorrentía y retrasando la respuesta hidrológica; no obstante, su rendimiento es contingente al régimen de lluvia, humedad antecedente, conductividad del suelo, nivel freático y a la operación. En consecuencia, la mitigación lograda no es una propiedad fija de la tipología, sino del acoplamiento diseño–sitio y de mantenimiento verificable, especialmente frente a colmatación; se propone implementar portafolios híbridos y fortalecer la comparabilidad con métricas estandarizadas y monitoreo multievento.

Palabras clave: SuDS; inundaciones urbanas; escorrentía pluvial; infiltración; mantenimiento.



Check for updates

Received: 30/Ene/2026

Accepted: 20/Feb/2026

Published: 17/Mar/2026

Cita: Salvatierra-Moreira, C. O., Vinueza-Mendoza, G. W., Soria-Quisigüña, S., & Carrillo-Morales, C. A. (2026). Sistemas de drenaje urbano sostenible para mitigación de inundaciones. *Revista Científica Ciencia Y Método*, 4(1), 575-587. <https://revistacym.com/index.php/home/article/view/172>

Revista Científica Ciencia y Método (RCyM)
<https://revistacym.com>
revistacym@editorialgrupo-aea.com
info@editorialgrupo-aea.com

© 2026. Este artículo es un documento de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la **Licencia Creative Commons, Atribución-NoComercial 4.0 Internacional**.



Abstract:

Urban flooding associated with heavy rainfall, impervious surfaces, and inadequate sewerage systems requires approaches that go beyond conventional drainage. This article therefore reviews the evidence on Sustainable Urban Drainage Systems (SuDS) for flood mitigation. A qualitative and exploratory document review was conducted, with a reproducible search of academic databases and technical literature, screening and full-text reading, inclusion/exclusion criteria, and extraction into a matrix of variables of typology, context, and performance. The findings indicate that SuDS, as distributed infrastructure, incorporate storage and increase transit times, attenuating peak flows, reducing runoff volumes, and delaying the hydrological response; however, their performance is contingent on rainfall patterns, antecedent moisture, soil conductivity, water table, and operation. Consequently, the mitigation achieved is not a fixed property of the typology, but rather of the design-site coupling and verifiable maintenance, especially in the face of silting. It is proposed to implement hybrid portfolios and strengthen comparability with standardized metrics and multi-event monitoring.

Keywords: SuDS; urban flooding; stormwater runoff; infiltration; maintenance.

1. Introducción

Las inundaciones urbanas asociadas a lluvias intensas, redes de alcantarillado insuficientes y expansión acelerada de superficies impermeables se han convertido en un riesgo recurrente para ciudades de América Latina, donde la urbanización y la exposición a amenazas hidrometeorológicas tienden a concentrarse en áreas densamente pobladas y con infraestructura envejecida o incompleta (UN-Habitat, 2022; UNDRR, 2021). En este marco, la evidencia reciente advierte que los riesgos compuestos en ciudades incluida la inundación pluvial por precipitación extrema están aumentando y tensionan servicios esenciales y activos críticos (IPCC, 2022). En consecuencia, la gestión convencional del drenaje, centrada en conducir el agua “rápido y lejos” mediante tuberías, resulta cada vez menos consistente con escenarios de variabilidad climática, crecimiento urbano y restricciones presupuestales para ampliaciones permanentes de capacidad (Fletcher et al., 2013; Ashley et al., 2018).

A partir de ello, la problemática no se limita al anegamiento temporal de vías: las inundaciones desencadenan daños directos en viviendas e infraestructura, interrupciones del transporte, afectaciones económicas por pérdidas de productividad y costos de recuperación, además de impactos ambientales vinculados al arrastre de contaminantes y a la degradación de cuerpos receptores (Fletcher et al., 2013; Eckart et al., 2017). Asimismo, el aumento de la escorrentía y la reducción de la infiltración propias de la urbanización aceleran la respuesta hidrológica de las cuencas urbanas, elevando picos de caudal y volúmenes de escorrentía, lo que amplifica la peligrosidad

incluso ante eventos de lluvia de corta duración (Fletcher et al., 2013; Zhou, 2014). Si este patrón no se aborda, la acumulación de pérdidas y la reiteración de interrupciones tienden a profundizar desigualdades urbanas, dado que la exposición y la vulnerabilidad suelen concentrarse en zonas con menor capacidad de adaptación (IPCC, 2022; UNDRR, 2021).

En este contexto, los Sistemas de Drenaje Urbano Sostenible (SuDS) denominados en otros marcos como LID o WSUD proponen gestionar la escorrentía en el origen mediante soluciones distribuidas (p. ej., pavimentos permeables, biorretenciones, zanjas y humedales, techos verdes) que buscan aproximar el balance hídrico urbano a condiciones predesarrollo, reduciendo picos de caudal y aportando tratamiento de contaminantes (Fletcher et al., 2015; Woods Ballard et al., 2015). De manera consistente, revisiones de literatura muestran que prácticas tipo LID/SuDS han evidenciado beneficios hidrológicos y de calidad del agua, aunque con variabilidad dependiente del sitio, del diseño y del mantenimiento, lo que obliga a interpretar la efectividad como función del contexto (Ahiablame et al., 2012; Eckart et al., 2017). Por tanto, más que una “tecnología única”, SuDS constituye un enfoque de portafolio que integra infraestructura azul-verde para mitigar la inundación y, simultáneamente, mejorar desempeño ambiental urbano (Zhou, 2014; Woods Ballard et al., 2015).

Sin embargo, la literatura también revela brechas que justifican una revisión bibliográfica orientada específicamente a la mitigación de inundaciones: persisten incertidumbres sobre desempeño a largo plazo, escalabilidad a nivel de cuenca, sensibilidad a suelos y clima, y comparabilidad entre estudios por diferencias en métricas, periodos de monitoreo y condiciones de operación (Eckart et al., 2017; Fletcher et al., 2013). Además, aunque se reconoce que SuDS puede generar beneficios múltiples (amenidad, biodiversidad, regulación térmica, valorización), la monetización y la incorporación explícita de incertidumbre en la valoración aún presentan desafíos metodológicos para la toma de decisiones (Ashley et al., 2018; O'Donnell et al., 2017). En consecuencia, el vacío no es meramente académico: la falta de síntesis consistente sobre “qué funciona, dónde y bajo qué supuestos” puede retrasar adopciones efectivas o derivar en implementaciones subóptimas que no reduzcan el riesgo de inundación como se espera (Zhou, 2014; Woods Ballard et al., 2015).

De manera coherente con lo anterior, resulta socialmente pertinente revisar críticamente la evidencia sobre SuDS porque ofrece una vía de adaptación urbana basada en naturaleza e ingeniería integrada, alineada con agendas de resiliencia y sostenibilidad urbana que hoy demandan soluciones costo-efectivas y con co-beneficios verificables (IPCC, 2022; UN-Habitat, 2022). En términos de viabilidad, un artículo de revisión bibliográfica es factible dado que existe un cuerpo consolidado de manuales técnicos y literatura revisada por pares que permite comparar tipologías, criterios de diseño y resultados de desempeño sin requerir intervención directa sobre población humana ni recolección de datos sensibles (Woods Ballard et al., 2015; Zhou, 2014). Asimismo, la disponibilidad de bases de datos científicas y repositorios

institucionales facilita un mapeo reproducible del conocimiento y un análisis crítico de tendencias, limitaciones y oportunidades, respetando principios de integridad académica propios de revisiones de evidencia (Ahiablame et al., 2012; Eckart et al., 2017).

Por consiguiente, este artículo de revisión tiene como objetivo general analizar la evidencia científica y técnica sobre Sistemas de Drenaje Urbano Sostenible orientados a la mitigación de inundaciones urbanas. Específicamente, se propone (i) identificar las tipologías SuDS más reportadas y sus mecanismos hidrológicos de reducción de escorrentía y atenuación de picos, (ii) sintetizar la evidencia de desempeño y los factores contextuales que explican su variabilidad (clima, suelo, escala, mantenimiento) y (iii) comparar enfoques de evaluación que incorporan beneficios múltiples y sus incertidumbres para apoyar decisiones de planificación (Fletcher et al., 2015; Ashley et al., 2018). En síntesis, la contribución esperada es articular una lectura integrada hidrológica, ambiental y decisional que conecte brechas de comparabilidad y de valoración con recomendaciones útiles para investigación futura y práctica urbana, reforzando la originalidad del trabajo en su énfasis simultáneo en eficacia de mitigación de inundaciones y criterios de adopción con co-beneficios (O'Donnell et al., 2017; Zhou, 2014).

2. Materiales y métodos

La metodología se enmarcó en una investigación documental de enfoque cualitativo y alcance exploratorio, estructurada como una revisión de alcance para mapear, organizar y sintetizar la evidencia disponible sobre Sistemas de Drenaje Urbano Sostenible (SuDS) orientados a la mitigación de inundaciones urbanas. Este enfoque se seleccionó por la heterogeneidad típica del campo —diversidad de tipologías, escalas de intervención y métricas hidrológicas— que limita la comparabilidad estricta entre estudios y favorece una síntesis interpretativa que identifique tendencias, vacíos y líneas de investigación con utilidad para la planificación urbana y la ingeniería hidráulica. En consecuencia, el procedimiento priorizó trazabilidad, explicitación de decisiones y consistencia analítica en cada etapa del proceso.

La búsqueda bibliográfica se realizó mediante estrategias reproducibles en bases de datos académicas multidisciplinarias y especializadas en ingeniería, ambiente y ciencias urbanas, complementadas con literatura técnica cuando aportó criterios de diseño, operación o mantenimiento relevantes para interpretar resultados. Se construyeron ecuaciones con sinónimos y equivalencias terminológicas (p. ej., SuDS, LID, WSUD, BMPs) combinadas con términos asociados a inundación urbana, escorrentía y drenaje pluvial, utilizando operadores booleanos, truncamientos y filtros por idioma, tipo de documento y periodo temporal definido por el equipo investigador. Para asegurar transparencia, se registraron cadenas de búsqueda, fechas de consulta, repositorios explorados y número de resultados por estrategia, de modo que el proceso pudiera ser replicable o auditado.

La selección de documentos se efectuó en dos fases: primero, cribado de títulos y resúmenes; después, lectura a texto completo para confirmar elegibilidad. Se incluyeron estudios y documentos que reportaran evidencia vinculada con la reducción de caudales pico, disminución de volúmenes de escorrentía, incremento de infiltración/almacenamiento o disminución de anegamientos, siempre que describieran con suficiencia la tipología SuDS y el contexto de implementación para permitir análisis comparativo. Se excluyeron registros sin metodología o resultados verificables, duplicados, y publicaciones sin relación directa con SuDS o con mitigación de inundaciones. Las decisiones de inclusión/exclusión se documentaron junto con su justificación, a fin de sostener la trazabilidad del corpus final analizado.

La extracción de información se realizó con una matriz diseñada previamente que integró variables bibliográficas (año, región, tipo de fuente), variables de intervención (tipología, escala, parámetros de diseño y mantenimiento) y variables de desempeño (indicadores hidrológicos y, cuando correspondió, calidad del agua y co-beneficios asociados). La síntesis se desarrolló de forma narrativa y temática, agrupando hallazgos por tipología y escala, y examinando cómo clima, suelo, urbanización y mantenimiento modulan el rendimiento reportado. Dado que se trabajó con fuentes secundarias de acceso público, no se gestionaron datos personales ni se involucraron participantes humanos; aun así, se adoptaron medidas de integridad académica, control de sesgos (p. ej., revisión por pares de la extracción) y reporte transparente de limitaciones para fortalecer la credibilidad del mapeo (Rivadeneira-Moreira et al, 2024).

3. Resultados

3.1. Desempeño hidrológico de los SuDS para la mitigación de inundaciones urbanas

El desempeño hidrológico de los Sistemas de Drenaje Urbano Sostenible (SuDS) se entiende, en términos estrictos, como la capacidad de desacoplar la precipitación del sistema de drenaje convencional, reduciendo la conversión inmediata de lluvia en escorrentía conectada y, con ello, la tendencia urbana a respuestas hidrológicas abruptas y de alta magnitud. Dicho desempeño se expresa mediante cambios observables en el hidrograma (pico, pendiente de ascenso, tiempo al pico y recesión) y en el balance hídrico del sitio (abstracciones por infiltración, almacenamiento y evapotranspiración), lo que resulta particularmente pertinente para mitigar inundaciones pluviales en tramas densamente impermeabilizadas.

En la evidencia empírica y de síntesis, la literatura coincide en que los SuDS actúan como infraestructura distribuida que introduce “capacitancias” (volúmenes de retención/detención) y “resistencias” (rutas más lentas de tránsito) dentro del sistema urbano, de modo que la escorrentía se lamina, se retrasa o, en parte, se elimina del circuito superficial. No obstante, la magnitud del efecto depende de condiciones

antecedentes (humedad del sustrato, saturación del suelo, secuencia de eventos) y de decisiones de diseño (profundidades, medios granulares, dispositivos de control), razón por la cual es metodológicamente preferible interpretar resultados como rangos condicionados y no como valores invariantes (Eckart et al., 2017).

3.1.1. Atenuación de caudales pico

La atenuación del caudal máximo constituye el mecanismo más directamente asociado con la reducción de fallas por sobrecapacidad en redes pluviales: al disminuir el pico, se reduce la probabilidad de exceder la capacidad hidráulica en colectores, sumideros y estructuras de control, y por extensión se limita la formación de láminas de agua en superficie. En términos funcionales, este “peak shaving” se logra cuando el sistema dispone de almacenamiento libre previo al evento y combina detención con tasas de vaciado inferiores a la tasa de aporte, ya sea por infiltración o por descarga regulada.

En biorretenciones, por ejemplo, la evidencia de campo muestra que el pico se reduce por la interacción entre el volumen de encharcamiento admisible, la porosidad efectiva del medio filtrante y la presencia (o ausencia) de subdrenes, lo cual determina si el sistema opera predominantemente como dispositivo infiltrante o como dispositivo de detención con descarga controlada. En pavimentos permeables, la atenuación del pico puede ser aún más marcada cuando la infiltrabilidad se mantiene, debido a que el aporte se transfiere hacia almacenamiento subsuperficial en capas granulares, reduciendo el escurrimiento superficial concentrado y, con ello, la “agresividad” hidráulica del evento (Fletcher et al., 2013).

3.1.2. Reducción del volumen de escorrentía

La reducción del volumen escurrido es un criterio complementario y con frecuencia decisivo porque incide en la duración del anegamiento, en la persistencia de descargas durante la recesión y en el volumen total que debe ser transportado por la red o el receptor urbano. A diferencia de la mera laminación temporal, la reducción volumétrica implica una abstracción real del sistema superficial mediante infiltración al subsuelo y retorno a la atmósfera por evapotranspiración, de modo que el agua deja de contribuir al hidrograma de salida (Fletcher et al., 2013).

En techos verdes, el desempeño volumétrico depende del almacenamiento del sustrato y de su estado hídrico antecedente, por lo que la retención tiende a disminuir cuando los eventos se encadenan sin periodos suficientes de secado, o cuando la estación incrementa la humedad basal del sistema (Lizarraga-Aguirre et al., 2024). En biorretención, el volumen reducido está estrechamente ligado a la conductividad del suelo nativo y a la conectividad hidráulica: cuando la infiltración hacia el subsuelo es limitada (por compactación, suelos finos o nivel freático somero), el sistema puede conservar parte del beneficio por detención, pero la reducción volumétrica neta suele disminuir (Fletcher et al., 2015).

3.1.3. Retardo de la respuesta hidrológica

El retardo (lag) y la laminación del hidrograma constituyen una forma de mitigación particularmente valiosa en redes urbanas donde el problema central es la coincidencia temporal de aportes: si el caudal se desplaza en el tiempo y se suaviza la pendiente de ascenso, se reduce la simultaneidad de picos en nodos críticos, disminuyendo la probabilidad de reboses y la extensión espacial de los anegamientos (Bonilla Triana, 2019). Este efecto se origina en el almacenamiento transitorio y en el incremento del tiempo de tránsito (superficial y subsuperficial), transformando una respuesta “instantánea” en una descarga progresiva (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2022).

En particular, los sistemas con control de salida (p. ej., orificios, subdrenes con regulación o configuraciones que limitan el vaciado) hacen del retardo una propiedad diseñable, permitiendo calibrar la tasa de descarga para mantenerla por debajo de umbrales críticos del drenaje receptor. Sin embargo, la literatura advierte que el retardo puede acompañarse de recesiones más largas; por ello, su evaluación debe considerar el desempeño integral del sistema urbano, evitando interpretaciones que ignoren la dinámica aguas abajo o la interacción con eventos sucesivos (O'Donnell et al., 2017).

3.1.4. Condicionantes de efectividad (contexto y mantenimiento)

La variabilidad del desempeño reportado no es un defecto del enfoque, sino una consecuencia de que los SuDS son soluciones fuertemente contingentes al acoplamiento entre diseño, entorno y operación. Entre los condicionantes más robustos se encuentran el régimen de lluvia (intensidad, duración y patrón intraevento), la humedad antecedente, la conductividad hidráulica del suelo, la profundidad del nivel freático, el grado de compactación y la relación entre área contribuyente y área tratada, que puede inducir sobrecargas si el aporte excede la capacidad de almacenamiento e infiltración disponible. En consecuencia, los resultados son más transferibles cuando los estudios reportan explícitamente condiciones de borde, criterios de dimensionamiento y métricas comparables (United Nations Human Settlements Programme [UN-Habitat], 2022).

En paralelo, el mantenimiento es un determinante crítico porque incide sobre la variable hidrológica más sensible de varias tipologías: la permeabilidad efectiva del sistema. En pavimentos permeables, la colmatación por finos y detritos tiende a reducir la infiltración superficial con el tiempo si no se implementan rutinas de limpieza y recuperación; en términos de gestión del riesgo, esto implica que el beneficio para mitigación de inundaciones no debe modelarse ni planificarse como permanente sin un programa operativo claro. En la misma lógica, guías técnicas subrayan la conveniencia de incorporar medidas de pretratamiento, accesibilidad para mantenimiento y factores de seguridad sobre la infiltración para reflejar degradación funcional durante la vida útil (United Nations Office for Disaster Risk Reduction [UNDRR], 2021).

4. Discusión

La síntesis realizada permite sostener que el renovado interés por los SuDS no es un giro meramente “estético” hacia infraestructura verde, sino una respuesta técnica frente a la intensificación de riesgos hidrometeorológicos en ciudades, donde la impermeabilización y la conectividad hidráulica aceleran la generación de escorrentía y comprimen los tiempos de respuesta (Sosa Bueno & González Tómalá, 2025). En ese sentido, el énfasis contemporáneo en adaptación urbana y resiliencia climática refuerza la pertinencia de estrategias que reequilibran procesos del ciclo hidrológico (infiltración, almacenamiento y evapotranspiración) en lugar de depender exclusivamente del transporte rápido del agua por redes grises. Así, la discusión se inscribe en un escenario en el que los riesgos urbanos se configuran por la interacción entre peligros climáticos, exposición y vulnerabilidades estructurales, particularmente relevantes en América Latina y el Caribe por su elevada urbanización y desigualdad territorial (Woods Ballard et al., 2015).

Un hallazgo transversal es que el desempeño hidrológico de los SuDS se comprende mejor como un conjunto de funciones (laminación, abstracción y regulación) y no como una propiedad fija de una tipología aislada. Esta perspectiva reduce el riesgo de extrapolaciones simplistas, porque la evidencia muestra una diversidad terminológica y operacional SuDS, LID, WSUD que, aunque converge en objetivos de “hidrología más natural”, puede inducir discrepancias en criterios de diseño, métricas y escalas de evaluación si no se explicitan supuestos y condiciones de borde. En consecuencia, la literatura recomienda clarificar el marco conceptual y el lenguaje técnico para asegurar que la comparación entre estudios sea semánticamente coherente y metodológicamente justa (Zhou, 2014).

Desde la lógica del control de inundaciones urbanas, la discusión de resultados evidencia que las cuatro dimensiones tratadas atenuación de caudales pico, reducción de volumen, retardo temporal y condicionantes de efectividad no son compartimentos estancos, sino expresiones distintas del mismo principio: desacoplar la precipitación del drenaje convencional y redistribuirla en el tiempo, el espacio y las rutas hidrológicas (Rey Valencia, 2019). Sin embargo, también se observa que la interpretación del “éxito” depende de la pregunta de gestión: proteger un punto crítico de sobrecarga exige priorizar picos y tiempos al pico, mientras que reducir duración del anegamiento y presión acumulada sobre la red requiere foco en volúmenes y abstracciones netas (Barberán-Zambrano et al., 2025). Esta distinción, aunque conceptualmente simple, suele diluirse en estudios que reportan indicadores no equivalentes o periodos de observación heterogéneos, lo que refuerza la necesidad de reportes comparables para fortalecer inferencias (Eckart et al., 2017).

En cuanto a la atenuación de caudales pico, la evidencia revisada respalda que el “peak shaving” es particularmente robusto cuando los dispositivos disponen de almacenamiento libre previo y cuando la descarga está controlada por mecanismos que limitan la tasa de salida respecto del influjo. En biorretención, la noción de

almacenamiento disponible —en superficie y en el medio poroso— emerge como variable explicativa de gran poder para comprender por qué algunos sistemas capturan completamente eventos frecuentes y otros derivan excedentes con picos aún moderados: la hidrología observada se vuelve, en gran medida, una función del estado antecedente y de la arquitectura interna del sistema. En pavimentos permeables, los registros de desempeño a largo plazo sugieren que, mientras se sostenga la infiltrabilidad, el comportamiento puede aproximarse a la eliminación del escurrimiento superficial en numerosos eventos, lo que, desde la óptica de inundación pluvial, equivale a una mitigación intensa del pico a nivel de superficie urbana.

Respecto de la reducción del volumen de escorrentía, los resultados apuntan a una interpretación más exigente: disminuir volumen implica abstracción real por infiltración y/o evapotranspiración, y por tanto se encuentra fuertemente modulada por suelos, nivel freático, compactación, y por la capacidad de secado entre tormentas. En techos verdes, la literatura describe un desempeño volumétrico marcadamente no lineal, donde la retención se reconfigura con la humedad antecedente, la estación y la secuencia de eventos; por ello, las comparaciones basadas solo en tormentas aisladas pueden sobrestimar beneficios si no incorporan periodos húmedos prolongados. En biorretención, la reducción volumétrica es consistente con el rol del almacenamiento y la infiltración al subsuelo, pero también evidencia que, cuando la infiltración es limitada, el sistema tiende a desplazar el problema desde la “cantidad” hacia el “tiempo” (laminación), lo cual no es necesariamente negativo, pero sí exige precisión al comunicar beneficios (Fletcher et al., 2013).

El retardo de la respuesta hidrológica aparece como un mecanismo especialmente valioso cuando el fracaso del drenaje ocurre por concurrencia temporal de aportes en nodos críticos. Retrasar y suavizar el ascenso del hidrograma puede disminuir la simultaneidad de picos en la red, generando un “margen operativo” que se traduce en menos reboses o menores profundidades de lámina en superficie (Gaibor-Garófalo & Paucar-Camacho, 2025). No obstante, la literatura también sugiere que el retardo puede prolongar recesiones y mantener descargas durante más tiempo, lo que obliga a evaluar el sistema de forma integral (incluida la red receptora) para evitar transferencias de impacto en el tiempo o el espacio. En esa dirección, se refuerza la idea de soluciones híbridas: trenes de tratamiento y combinaciones de SuDS con infraestructura gris pueden ser más realistas que enfoques monolíticos, sobre todo en tejidos urbanos consolidados (Pomahuacre Oruna, 2025).

La discusión sobre condicionantes de efectividad es, quizá, la más determinante para convertir evidencia en implementación: la eficacia no depende solo del “tipo” de SuDS, sino de su ajuste al contexto hidrogeológico y de su gobernanza operativa. En particular, la degradación de la permeabilidad efectiva por colmatación constituye un punto crítico para soluciones porosas; de hecho, la literatura técnica y empírica coincide en que el desempeño hidráulico no puede considerarse permanente sin rutinas de mantenimiento, y que ciertas prácticas de recuperación pueden restaurar tasas de infiltración en diferentes grados (Palacios-López et al., 2025). De ello se

deriva una implicación decisional relevante: la “mitigación de inundaciones” mediante SuDS es un servicio condicionado por capacidades institucionales de operación y mantenimiento, y por diseños que incorporen accesibilidad, pretratamiento y factores de seguridad para el deterioro funcional (Fletcher et al., 2015).

En paralelo, la adopción de SuDS se robustece cuando la discusión incorpora beneficios múltiples con métricas defendibles, dado que la mitigación de inundación rara vez es el único objetivo urbano. Los estudios que evalúan esquemas reales muestran que, además del control hidrológico, existen beneficios ambientales y sociales que pueden justificar inversión y coordinación interinstitucional, aunque su cuantificación y distribución espacial requieren herramientas metodológicas explícitas. En esta línea, la evaluación de beneficios múltiples incluida la representación espacial de “quién gana y dónde” contribuye a superar la barrera clásica de justificar SuDS solo por hidráulica, especialmente en entornos donde la competencia presupuestaria es alta y la evidencia debe traducirse en argumentos comparables con alternativas grises (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2022).

Finalmente, la revisión también sugiere límites y oportunidades de investigación: persiste heterogeneidad en indicadores, escalas y horizontes de monitoreo, lo que restringe comparaciones robustas y dificulta construir criterios universales de desempeño. En consecuencia, futuras revisiones y estudios primarios deberían priorizar reportes estandarizados (pico, volumen, tiempo al pico, condiciones antecedentes), monitoreo multievento y aproximaciones que contemplen no solo el clima histórico sino escenarios plausibles de intensificación de extremos, dada la relevancia creciente de la incertidumbre climática para la infraestructura urbana. En síntesis, el valor de los SuDS para mitigar inundaciones urbanas es consistente, pero su efectividad real depende de diseño basado en procesos, lectura contextual y mantenimiento verificable; sin estos pilares, el potencial hidrológico se vuelve frágil frente a la variabilidad climática y a la dinámica urbana (O'Donnell et al., 2017).

5. Conclusiones

Las evidencias sistematizadas permiten concluir, con un grado razonable de convergencia, que los SuDS constituyen una arquitectura hidrológica eficaz para reducir el estrés hidráulico del drenaje urbano, no por “aumentar capacidad” en el sentido clásico, sino por reordenar el metabolismo hídrico de la ciudad: interceptan, almacenan, infiltran y liberan de forma dosificada fracciones significativas de la lluvia, lo que disminuye la generación instantánea de escorrentía conectada y, por ende, la propensión a respuestas súbitas y de alta magnitud típicas de cuencas impermeabilizadas. En términos de mitigación de inundaciones, ello se traduce en tres resultados operativos que deben leerse de manera integrada: (i) la atenuación de caudales pico, que reduce la probabilidad de sobrecarga y rebose en nodos críticos; (ii) la reducción del volumen escurrido, cuando la abstracción por infiltración/evapotranspiración es realmente viable; y (iii) el retardo y la laminación del

hidrograma, que disminuyen la concurrencia temporal de aportes y amplían el “margen operativo” de la red durante eventos intensos.

No obstante, también se concluye que el desempeño no es una cualidad intrínseca e inmutable de una tipología, sino un producto emergente del acoplamiento entre diseño, escala y contexto: la humedad antecedente, el régimen pluviométrico, la conductividad hidráulica del suelo, la profundidad del nivel freático, la conectividad subsuperficial y la relación área aportante–área tratada gobiernan la fracción de agua que puede ser detenida o abstraída sin saturación prematura, de modo que extrapolar resultados sin condiciones de borde explícitas conduce a expectativas poco defendibles.

De forma igualmente decisiva, la revisión permite afirmar que la sostenibilidad hidrológica de los SuDS depende de su condición de sistema socio-técnico, donde el mantenimiento no es accesorio sino estructural: la colmatación y la pérdida de permeabilidad efectiva especialmente en soluciones porosas pueden erosionar rápidamente beneficios si no existen rutinas de inspección, limpieza y recuperación, así como decisiones de diseño que anticipen la carga de sedimentos y faciliten la operación.

La implementación más robusta es la que se concibe como portafolio (trenes de medidas y combinaciones), capaz de distribuir funciones entre dispositivos y, cuando sea imprescindible, articularse con infraestructura gris para responder a restricciones hidrogeológicas o a tejidos urbanos consolidados, evitando enfoques monolíticos que suelen ser frágiles frente a tormentas extremas y variabilidad climática. Finalmente, se desprende como prioridad transversal mejorar la comparabilidad y la utilidad decisional de la evidencia: estandarizar reportes de pico-volumen-tiempo al pico con condiciones antecedentes, ampliar monitoreos multievento y de largo plazo, e incorporar evaluaciones multicriterio que integren desempeño hidrológico con co-beneficios y con incertidumbre climática, de modo que la adopción de SuDS pase de ser una recomendación genérica a una estrategia técnicamente verificable y gobernable en el ciclo de vida.

CONFLICTO DE INTERESES

“Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses”.

Referencias Bibliográficas

Barberán-Zambrano, G. S., & Guerrero-Calero, J. M. (2025). Análisis de susceptibilidad y vulnerabilidad a deslizamientos en la comunidad Naranjal de la parroquia Abdón Calderón, Portoviejo. *Revista Científica Zambos*, 4(2), 118-134. <https://doi.org/10.69484/rcz/v4/n2/111>

- Bonilla Triana, L. F. (2019). *Evaluación de los sistemas de drenaje urbano sostenible en la reducción del riesgo de inundación urbana* [Trabajo de grado de pregrado, Universidad de los Andes]. Repositorio institucional Séneca. <http://hdl.handle.net/1992/44738>
- Eckart, K., McPhee, Z., & Bolisetti, T. (2017). Performance and implementation of low impact development—A review. *Science of the Total Environment*, 607–608, 413–432. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.06.254>
- Fletcher, T. D., Andrieu, H., & Hamel, P. (2013). Understanding, management and modelling of urban hydrology and its consequences for receiving waters: A state of the art. *Advances in Water Resources*, 51, 261–279. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2012.09.001>
- Fletcher, T. D., Shuster, W., Hunt, W. F., Ashley, R., Butler, D., Arthur, S., Trowsdale, S., Barraud, S., Semadeni-Davies, A., Bertrand-Krajewski, J.-L., Mikkelsen, P. S., Rivard, G., Uhl, M., Dagenais, D., & Viklander, M. (2015). SUDS, LID, BMPs, WSUD and more – The evolution and application of terminology surrounding urban drainage. *Urban Water Journal*, 12(7), 525–542. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2014.916314>
- Gaibor-Garófalo, A. M., & Paucar-Camacho, J. A. (2025). Estrategias para el fortalecimiento de la gestión de riesgos de desastres en el uso de suelo del área urbana de la parroquia Salinas, cantón Guaranda. *Revista Científica Zambos*, 4(2), 71-86. <https://doi.org/10.69484/rcz/v4/n2/117>
- IPCC. (2022). *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>
- Lizarraga-Aguirre, H. R. (2024). Evaluación de materiales sostenibles en la construcción de pavimentos urbano. *Revista Científica Ciencia Y Método*, 2(1), 41-54. <https://doi.org/10.55813/gaea/rcym/v2/n1/30>
- O'Donnell, E. C., Woodhouse, R., & Thorne, C. R. (2017). Evaluating the multiple benefits of a sustainable drainage scheme in Newcastle, UK. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Water Management*. <https://doi.org/10.1680/jwama.16.00103>
- Palacios-López, L. A., Pinargote-Bravo, V. J., Cárdenas-Lituma, M. G., & Solórzano-Cedeño, A. L. (2025). Análisis correlacional de vulnerabilidad ante deslizamientos en el barrio San José de Montecristi. *Journal of Economic and Social Science Research*, 5(2), 16-33. <https://doi.org/10.55813/gaea/jessr/v5/n2/186>
- Pomahuacre Oruna, J. E. (2025). *Efectividad de sistemas de drenaje urbano sostenible (SUDS) para mitigar inundaciones en la quebrada Huaycoloro, Lima, 2025* [Tesis de pregrado, Universidad Tecnológica del Perú]. Repositorio Institucional - UTP. <https://hdl.handle.net/20.500.12867/13728>
- Rey Valencia, D. M. (2019). *Propuesta de sistema de drenaje urbano sostenible para cuencas de montaña con alta pendiente* [Tesis de maestría, Universidad

- Nacional de Colombia]. Repositorio Institucional Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/76582>
- Rivadeneira-Moreira, J. C. (2024). Implementación de gemelos digitales probabilísticos en el monitoreo de infraestructuras geotécnicas. *Revista Científica Ciencia Y Método*, 2(1), 27-40. <https://doi.org/10.55813/gaea/rcym/v2/n1/29>
- Sosa Bueno, D. G. C., & González Tómalá, J. A. (2025). Evaluación del Desempeño de los Sistemas de Drenaje Urbano Sostenible Para Mitigar los Efectos de las inundaciones. *Revista Veritas De Difusão Científica*, 6(2), 1444–1459. <https://doi.org/10.61616/rvdc.v6i2.698>
- UN-Habitat. (2022). World Cities Report 2022: Envisaging the Future of Cities. United Nations Human Settlements Programme. https://unhabitat.org/sites/default/files/2022/06/wcr_2022.pdf
- UNDRR. (2021). Regional Assessment Report on Disaster Risk in Latin America and the Caribbean (RAR 2021) – Annex: Special Report on Urbanization and Disaster Risk in Latin America and the Caribbean. United Nations Office for Disaster Risk Reduction. <https://www.preventionweb.net/publication/undrr-roamc-regional-assessment-report-disaster-risk-latin-america-and-caribbean-rar>
- Woods Ballard, B., Wilson, S., Udale-Clarke, H., Illman, S., Scott, T., Ashley, R., & Kellagher, R. (2015). The SuDS manual (C753). CIRIA. <https://www.stalbans.gov.uk/sites/default/files/documents/publications/planning-building-control/Bricket%20Wood%20Inquiry/ID6%20The%20SuDS%20Manual%20%28C753%29-v2.pdf>
- Zhou, Q. (2014). A review of sustainable urban drainage systems considering the climate change and urbanization impacts. *Water*, 6(4), 976–992. <https://doi.org/10.3390/w6040976>